

ВЛИЯНИЕ ДИАФРАГМ ЖЕСТКОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В КАРКАСАХ ЗДАНИЙ ПРИ УЧЕТЕ ФАКТОРА ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ

Шаповалов А.Н., Руденко В.В.

Харьковская национальная академия городского хозяйства
г. Харьков, Украина

АНОТАЦІЯ: У статті розглядається вплив діафрагм жорсткості на розподіл зусиль M , N та Q при різноманітних варіантах видалення колон в моделі семиповерхової чотирьохпрольотної будівлі з розмірами в плані 2×2 м і чарунками колон $0,5 \times 0,5$ м. Відмічено найбільш несприятливий розподіл зусиль у схемах каркасу з несиметричним розположенням діафрагм жорсткості.

АННОТАЦИЯ: В статье рассматривается влияние диафрагм жесткости на распределение усилий M , N и Q при различных вариантах удаления колонн в модели семиэтажного четырехпролетного здания с размерами в плане 2×2 м и ячейкой колонн $0,5 \times 0,5$ м. Отмечено наиболее неблагоприятное распределение усилий в схемах каркаса с несимметричным расположением диафрагм жесткости.

ABSTRACT: The variants of delete the diaphragms of inflexibility on distributing of efforts M , N and Q at the different variants of delete the columns in the model of 7- floors fourflight building with sizes in the plan of 2×2 m and cell of columns $0,5 \times 0,5$ m are examined. Most unfavorable distributing of efforts in the charts framework with the asymmetrical location the inflexibility diaphragms is marked.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прогрессирующее разрушение, изменение усилий, диафрагма жесткости.

В настоящее время перед проектантами, строителями, а также разработчиками программного обеспечения остро стоит проблема оценки несущей способности каркаса и отдельных элементов перекрытий многоэтажных зданий с учетом эффекта прогрессирующего разрушения.

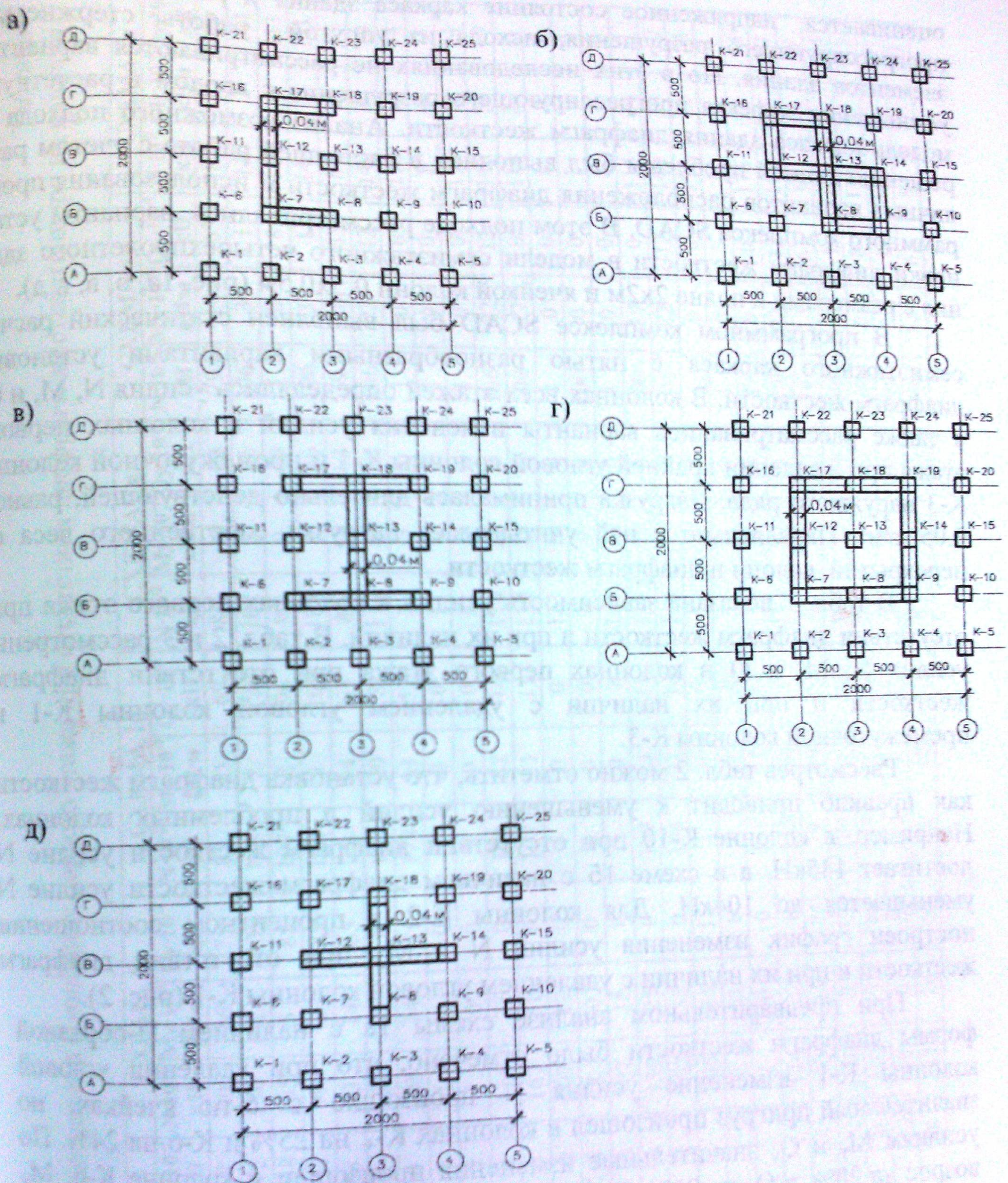


Рис. 1. Схемы расположения диафрагм жесткости

Этому вопросу посвящены отдельные исследования и расчетные положения такие, как: материалы исследований Перельмутера А.В.[1], Алмазова В.О.[2], Скорука Л.И.[3], Шапиро Г.И.[4] и других. В этих работах

оценивается напряженное состояние каркаса здания и развитие процесса прогрессирующего разрушения, исходя из упругой работы стержневых элементов здания. Но в этих исследованиях не рассматриваются варианты уменьшения эффекта прогрессирующего разрушения с вводом в расчетную модель каркаса здания диафрагм жесткости. Анализ возможного подхода к решению данной проблемы был выполнен в настоящей работе с учетом различных вариантов расположения диафрагм жесткости и использования программного комплекса SCAD. В этом подходе рассматривались варианты установки диафрагм жесткости в модели семиэтажного четырехпролетного здания с размерами в плане 2×2 м и ячейкой колонн $0,5 \times 0,5$ м (рис. 1а, б, в, г, д).

В программном комплексе SCAD был выполнен статический расчет семиэтажного каркаса с пятью разнообразными вариантами установки диафрагм жесткости. В колоннах всех этажей определялись усилия N , M , и Q , а также рассматривались варианты изменения усилий в колоннах первого этажа при удалении крайней угловой колонны К-1 и промежуточной колонны К-3 наружного ряда. Нагрузка принималась длительно действующей, равной $0,05 \text{ т/м}^2$. Параллельно с ней учитывалась нагрузка собственного веса от перекрытий, колонн и диафрагм жесткости.

В табл. 1 показана зависимость усилий в колоннах первого этажа при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии. В табл. 2 и 3 рассмотрены усилия N , M , и Q в колоннах первого этажа при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии с удалением угловой колонны К-1 и промежуточной колонны К-3.

Рассмотрев табл. 2 можно отметить, что установка диафрагм жесткости как правило приводит к уменьшению усилий в проблемных колоннах. Например, в колонне К-10 при отсутствии диафрагм жесткости усилие N достигает 145 кН , а в схеме 1б с наличием диафрагм жесткости усилие N уменьшается до 104 кН . Для колонны К-2 в процентном соотношении построен график изменения усилий N и M_y при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии с удалением угловой колонны К-1 (рис. 2).

При предварительном анализе схемы 1а с наличием П-образной формы диафрагм жесткости было отмечено, что при удалении угловой колонны К-1 изменение усилия N произошло в 6-ти ячейках, но значительный пригруз произошел в колоннах К-2 на 25% и К-6 на 24%. По усилиям M_y и Q_y значительные изменения произошли в колонне К-6: M_y возрос на 20%, а Q_y на 21%. В свою очередь, при удалении промежуточной колонны К-3 изменение усилия N произошло в 2-х ячейках, пригруз усилия N в колонне К-2 составил 16%, а в К-4 - 21%. В остальных колоннах значительных изменений по усилиям N не произошло. Более существенное изменение произошло по значению усилия M_y в колонне К-2 на 90 % (рис. 1а).

Таблица 1

Зависимость изменения усилий в колоннах первого этажа при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии

№ колон- ны	БЕЗ Д.Ж.			СХЕМА 1а			СХЕМА 1б			СХЕМА 1в			СХЕМА 1г			СХЕМА 1д		
	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН
1	74	15	68	90	16	75	82	15	69	83	14	63	79	14	63	81	15	69
2	146	0	152	150	2	139	143	2	139	102	2	86	106	3	1	140	2	141
3	147	0	148	105	3	85	107	2	96	99	0	69	1	0	8	114	0	113
4	146	0	152	99	3	85	104	3	100	102	2	86	106	3	1	140	2	141
5	74	15	68	83	14	63	79	14	63	83	14	63	79	14	63	81	15	69
6	146	33	4	162	32	0	143	30	8	114	22	0	106	22	12	140	30	10
7	265	0	0	208	14	15	178	11	52	1	0	0	1	0	0	176	12	54
8	273	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
9	265	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	12	54
10	146	33	4	114	22	0	104	22	14	114	22	0	106	22	12	140	30	10
11	147	32	0	167	31	0	107	21	11	139	25	0	100	17	0	114	24	0
12	273	0	0	203	17	0	1	0	0	123	14	0	1	0	0	1	0	0
13	283	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	100	0	0	1	0	0
14	273	0	0	122	15	0	1	0	0	123	14	0	1	0	0	1	0	0
15	147	32	0	139	25	0	107	21	11	139	25	0	100	17	0	114	24	0
16	146	33	4	162	32	0	104	22	14	114	22	0	106	22	12	140	30	10
17	265	0	0	208	14	15	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	12	54
18	273	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
19	265	0	0	1	0	0	178	11	52	1	0	0	1	0	0	176	12	54
20	146	33	4	114	22	0	143	30	8	114	22	0	106	22	12	140	30	10
21	74	15	68	90	16	75	79	14	63	83	14	63	79	14	63	81	15	69
22	146	0	152	150	2	139	104	3	100	102	2	86	106	3	1	140	2	141
23	147	0	148	105	3	85	107	2	96	99	0	69	100	0	8	114	0	113
24	146	0	152	99	3	85	143	2	139	102	2	86	106	3	1	140	2	141
25	74	15	68	83	14	63	82	15	69	83	14	63	79	14	63	81	15	69

Таблица 2

Зависимость изменения усилий в колоннах первого этажа при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии
с удалением угловой колонны К-1

№ КОЛОННЫ	БЕЗ Д.Ж.			СХЕМА 1а			СХЕМА 1б			СХЕМА 1в			СХЕМА 1г			СХЕМА 1д		
	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН
2	192	32	192	201	38	176	191	35	178	146	35	120	151	34	137	189	35	180
3	146	3	146	104	0	76	105	0	88	98	2	63	98	2	74	112	2	105
4	147	2	158	99	3	86	104	3	100	101	2	86	106	2	100	140	2	141
5	74	15	72	83	14	63	79	14	63	83	14	63	79	14	63	81	15	68
6	192	40	139	214	40	171	191	38	162	158	29	153	151	30	158	189	39	162
7	266	4	11	212	20	44	181	16	76	1	0	0	1	0	0	179	17	78
8	269	3	16	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
9	264	3	12	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	12	55
10	145	33	3	114	22	0	104	22	14	114	22	0	106	22	12	140	31	10
11	146	30	16	165	29	10	105	19	0	137	23	10	98	16	10	112	23	10
12	269	3	18	199	16	5	1	0	0	120	13	6	1	0	0	1	0	0
13	281	3	12	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
14	273	2	11	122	15	0	1	0	0	123	14	0	1	0	0	1	0	0
15	146	32	6	139	25	0	107	21	11	139	25	0	100	17	0	114	24	0
16	147	33	9	162	62	2	104	22	12	114	22	2	106	22	11	140	31	8
17	264	3	11	207	14	14	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	12	53
18	273	3	10	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
19	265	3	11	1	0	0	178	11	52	1	0	0	1	0	0	176	12	54
20	144	33	10	114	22	0	143	30	8	114	22	0	106	22	12	140	30	9
21	74	14	65	90	16	76	79	14	64	83	14	64	79	14	64	81	15	69
22	145	2	146	149	2	140	104	3	100	102	2	86	106	3	100	140	2	142
23	146	2	142	105	3	86	107	2	96	99	0	70	100	0	80	114	0	113
24	144	3	146	99	3	85	143	2	139	102	2	86	106	3	100	140	2	141
25	73	15	64	83	14	63	82	15	69	83	14	63	79	14	63	81	15	69

Зависимость изменения усилий в колоннах первого этажа при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии с удалением промежуточной колонны К-3

№ КОЛОННЫ	БЕЗ Д.Ж.			СХЕМА 1а			СХЕМА 1б			СХЕМА 1в			СХЕМА 1г			СХЕМА 1д		
	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН	$N \cdot 10^{-2}$ кН	$M_y \cdot 10^{-4}$ кН·м	$Q_y \cdot 10^{-4}$ кН
1	73	12	66	90	14	69	81	13	64	83	12	59	78	12	59	79	13	64
2	199	35	209	178	20	164	174	21	167	126	18	105	132	17	121	174	22	172
4	199	35	209	125	19	106	133	19	123	126	18	105	132	17	121	174	22	172
5	73	12	66	83	12	59	78	12	59	83	12	59	78	12	59	79	13	64
6	142	31	9	160	31	0	140	29	6	112	21	3	104	21	10	138	29	8
7	273	7	11	208	11	30	178	8	66	1	0	0	1	0	0	176	8	69
8	328	0	174	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
9	273	7	11	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	8	69
10	142	31	9	112	21	3	102	21	11	112	21	3	104	21	10	138	29	8
11	146	32	10	167	31	0	107	21	11	139	25	0	100	17	0	114	24	0
12	270	0	24	201	17	3	1	0	0	123	14	0	1	0	0	1	0	0
13	280	0	32	1	0	0	1	0	0	1	0	0	99	0	4	1	0	0
14	270	0	24	121	15	0	1	0	0	123	14	0	1	0	0	1	0	0
15	146	32	10	139	25	0	107	21	10	139	25	0	100	17	0	114	24	0
16	146	33	13	162	32	0	104	22	13	114	22	0	106	22	12	141	30	9
17	264	0	17	207	14	15	1	0	0	1	0	0	1	0	0	176	12	54
18	272	0	16	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
19	264	0	17	1	0	0	178	11	52	1	0	0	1	0	0	176	12	54
20	146	33	13	114	22	0	143	30	7	114	22	0	106	22	12	141	30	9
21	73	15	63	90	16	75	79	14	64	83	14	564	79	14	64	81	15	69
22	144	0	142	150	2	139	104	3	100	102	2	86	106	3	100	140	2	141
23	145	0	139	105	3	85	107	2	96	99	0	70	100	0	80	114	0	113
24	144	0	142	99	3	85	143	2	139	102	2	86	106	3	100	140	2	141
25	73	15	63	83	14	64	82	15	69	83	14	64	79	14	64	81	15	69

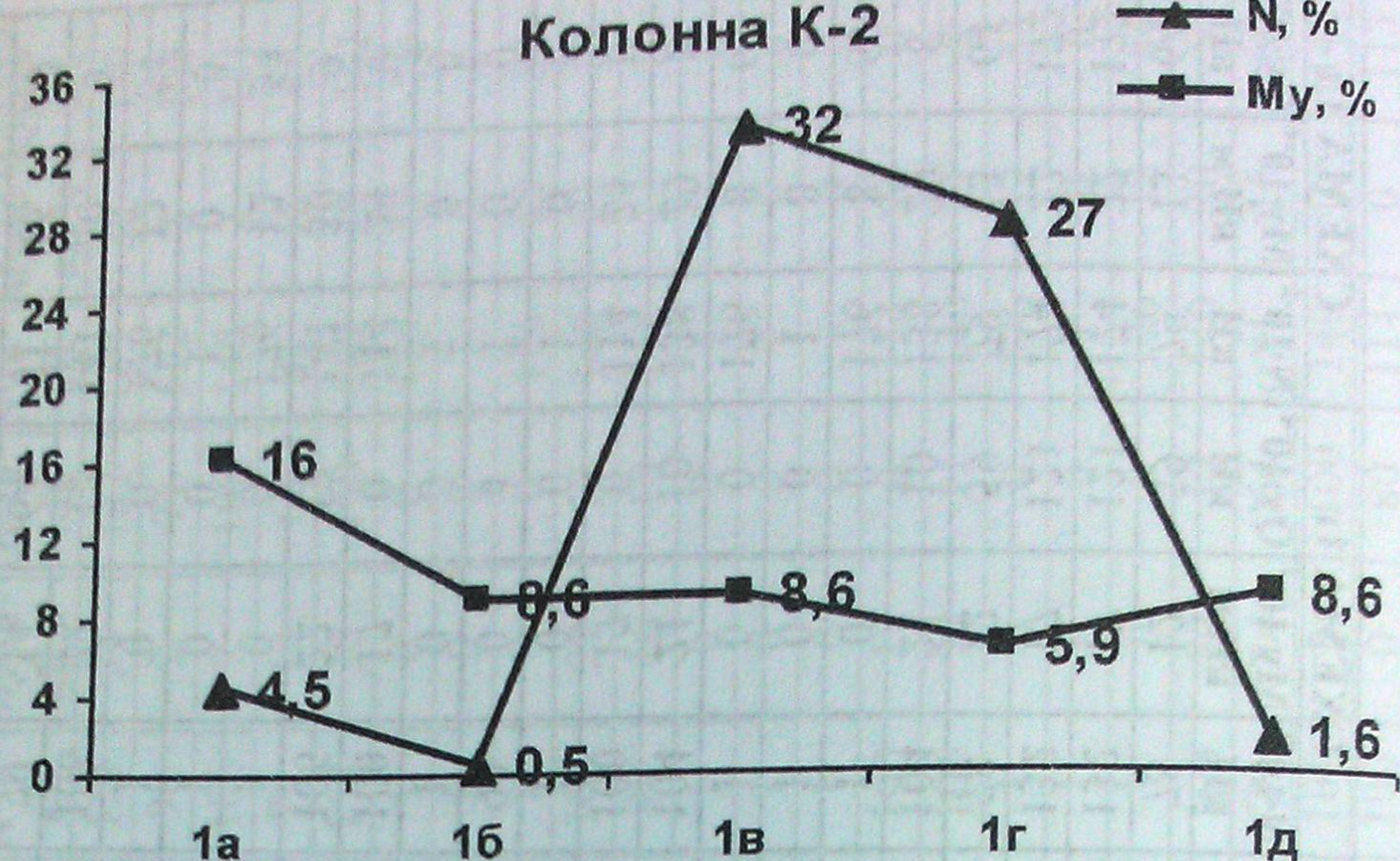


Рис. 2. График изменения усилий N и M_y при отсутствии диафрагм жесткости и при их наличии с удалением угловой колонны К-1

Анализируя изменение усилия N в схеме 1б при удалении угловой колонны К-1 необходимо отметить, что значительный рост этого усилия происходит в пределах 2-х ячеек, а именно в колоннах К-2 и К-6 на 25%, а колонна К-3 разгружается в пределах 2%. Удаление промежуточной колонны К-3 в данной схеме с симметричным расположением диафрагм жесткости приводит к изменению усилия N в колонне К-2 на 18%, а в колонне К-4 на 22%. M_y в колонне К-2 увеличился до 94%, а в К-6 до 21%, в остальных колоннах первого этажа усилие M_y изменилось незначительно, в пределах 16% (рис. 1б).

С наличием диафрагм жесткости в схеме 1в при удалении колонны К-1 наибольшее увеличение усилия N пришлось на колонну К-6 - 28%. В целом изменение по усилию N наблюдается в пяти ячейках, расположенных вблизи от удаленной колонны, и чем дальше ячейка расположена от эпицентра разрушения, тем меньше изменяются усилия в колоннах, находящихся в ней. При варианте удаления промежуточной колонны К-3 наблюдается рост усилия N в колоннах К-2 и К-4 на 19%. По усилиям M_y и Q_y происходит рост усилий в симметричных колоннах К-2 и К-4 - M_y на 89%, а Q_y на 18% (рис. 1в).

Например, анализируя вариант установки диафрагм жесткости по периметру в схеме 1г, при удалении колонны К-1 наблюдается увеличение усилия N в трех ячейках, а особое влияние приходится на колонны К-2 и К-6 - 30%, при этом M_y в колонне К-2 возрос до 2%, а в К-6 до 6%. В свою очередь Q_y в данных колоннах увеличился до 7%. Рассматривая вариант удаления промежуточной колонны К-3 в данной схеме видно, что изменение по усилию N пришлось на 2 ячейки, а именно на колонну К-2 и К-4 - 20% роста (рис. 1г).

Схема 1д имеет крестообразный вариант установки диафрагм и она оказывается наиболее эффективной. В этом варианте удаление угловой колонны К-1 приводит к изменению усилия N в 4-х ячейках, но наибольший эффект роста усилия наблюдается в симметричных колоннах К-2 и К-6 до 6%. В колонне К-7 усилие N возрастает до 2%. При варианте удаления промежуточной колонны К-3 наблюдается изменение усилия N также в 4-х ячейках, но наибольший эффект роста усилия пришелся на колонны К-2 и К-4 всего лишь 10%, а в колоннах К-1 и К-5 произошла разгрузка до 3%. По M_y в колоннах К-2 и К-4 наблюдается рост усилия до 9%, а в колоннах К-1 и К-5 разгрузка составила 5% (рис. 1д).

Анализ приведенных пяти различных схем установки диафрагм жесткости позволяет сделать вывод, что наиболее выгодной с экономической и физической точки зрения является крестообразная схема установки диафрагм жесткости как для варианта удаления угловой колонны, так и для варианта удаления промежуточной колонны. В целом выполненный анализ говорит о том, что наличие диафрагм жесткости в каркасах многоэтажных зданий и сооружений приводит к маловероятному эффекту роста прогрессирующего обрушения, а в зависимости от рационально выбранной схемы установки диафрагм жесткости можно говорить о наименее уязвимых колоннах данного каркаса. Наибольшее влияние на изменение усилий N , M , и Q в колоннах первого этажа при удалении угловой или промежуточной колонн приходится на колонны, расположенные в одной ячейки с удаляемой колонной – до 90% роста усилий, а в колоннах, расположенных в последующих ячейках каркаса с наличием диафрагм жесткости изменения усилий N , M , и Q незначительны и колеблются от 2 до 5%, что для изменения несущей способности колонн будет несущественным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельмутер А.В. О расчетах сооружений на прогрессирующее обрушение / А.В. Перельмутер // Вестник. – М.: МГСУ, 2008. – Вып.1. – С.119-128.
2. Алмазов В.О. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему обрушению / Алмазов В.О., Плотников А.И, Расторгуев Б.С. // Вестник. – М.: МГСУ, 2011. – Вып.2. – С.15 - 20.
3. Скорук Л.Н. Расчет высотных зданий и сооружений с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению / Л.Н. Скорук, А.А. Орлиогло // Материалы научно-технической конференции. – Киев, 2009. – С.1-15
4. Шапиро Г.И. Расчет железобетонных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения с использованием ЭВМ-программы «ОМ СНиП ЖЕЛЕЗОБЕТОН» / Г.И. Шапиро, М.Б. Краковский // Бетон и железобетон, 2007. – Вып.6. – С.12-15.

Статья поступила в редакцию 21.02.2013 г.